

1999年集集大地震における鉄道施設の被害

岩田 秀治¹・川島 一彦²・庄司 学³・家村 浩和⁴

1正会員 東海旅客鉄道株式会社（ジェイアール東海コンサルタンツ出向 〒460-0008 名古屋市中区栄2-5-1）

2正会員 工博 東京工業大学教授 工学部 土木工学科（〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1）

3正会員 工修 東京工業大学助手 工学部 土木工学科（同上）

4正会員 工博 京都大学大学院教授 工学研究科土木システム工学専攻（〒606-8501 京都市左京区吉田本町）

1. はじめに

平成11年9月21日に発生した1999年集集大地震により、台湾の鉄道施設も被害を受けた。著者らは、文部省突発自然災害調査班のメンバー（研究代表者：家村教授、研究分担者：川島教授、研究協力者：庄司助手・岩田）として現地入りし（1999年10月7日～15日）、台湾鉄道施設の被害と復旧について、現地の被害調査を行うとともに、台湾鐵路管理局、台湾交通部高速鐵路工程局などと、施設の復旧、耐震補修補強方法ならびに今回の大地震の被害を教訓とした耐震設計について議論を行った。

以下、今回の地震の鉄道被害と復旧および今後の鉄道構造物の耐震設計についての課題などについて報告する。

2. 鉄道の被害、復旧状況

今回の地震による鉄道施設の被害数は、電力、水道、道路施設などと比べ少ないものの、構造物の被害総額は約14億円に上る。地震直後も重要幹線である台湾西側の縦貫線（海線）は無損傷で不通は免れたが、発電所の損傷による電力不足で、地震後10日程度は断続的運行となった。

鉄道施設の被害は次のとおりである。台湾鉄道の路線を図-1に示す。

2. 1 縦貫線（山線）の被害

縦貫線（山線）は、列車の速度向上、構造物の老朽化対策などの目的で線区改良が行われ、竹南～豊原間を改線し、1998年10月に竣工、現在に至っている（図-2）。

今回の地震により新しく構築された山線では、大甲溪橋（桁式高架橋）、三義第一トンネルが損傷を受けた。当初、復旧予定は10月15日であったが、緊急復旧作業により10月8日に復旧した。

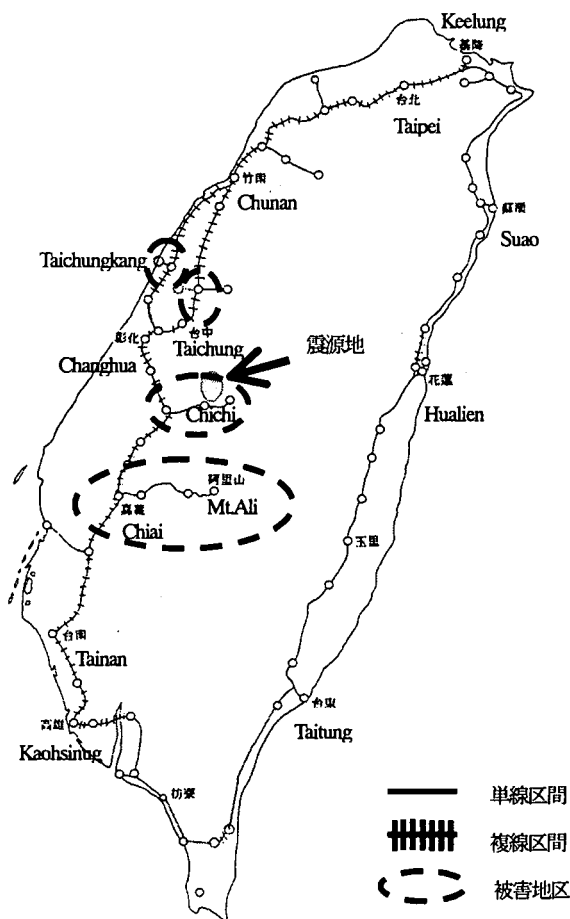
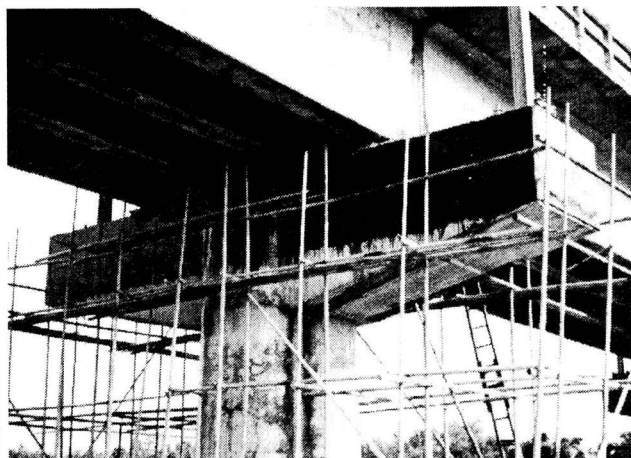


図-1 台湾の鉄道路線

2. 1. 1 大甲溪橋（桁式高架橋）

基本構造：複線（電化線）、桁式高架橋（RC単純桁4主桁、スパン25m×29連）、総延長725m、橋脚28基（柱部φ3.2m）、基礎構造ケーソン基礎（L=20.0m）、設計には変形性能（弾塑性）を考慮している。



損傷状況：橋脚の柱部・張り出し部が損傷し、軌道レールが座屈した（ケーソン基礎は無損傷）。

橋脚柱部の損傷は、12 基を数え、G.L. から +1 m 程度の箇所に曲げクラック（一部せん断クラック）が生じている。

クラックは大きなものでも 1mm 以下であるが、少なくとも主鉄筋が降伏していると考えられる。

1基の橋脚には、張り出し部付け根にせん断クラックが生じたと言われている。

補修補強：橋脚柱部の補修補強は、比較的損傷の大きい4基を先行的に行い、損傷の小さい残り8基については、その後に行う予定とされている。

補修補強は、RC巻き立て(巻き厚 30cm, 軸方向鉄筋 D22etc.13cm, 帯鉄筋 D9etc.10cm)を行った上に、さらに鋼板被覆(鋼板厚 9mm)を行う(写真一).

橋脚張り出し部では、クラックにエポキシ樹脂注入後、炭素繊維巻きを行って補修されている（写真-2）。

本橋の設計では、大地震時（L2地震動）に損傷を受けても、早期復旧が可能となることを目標とされた。結果的には、要求された耐震性能を十分満足したと考えられる。

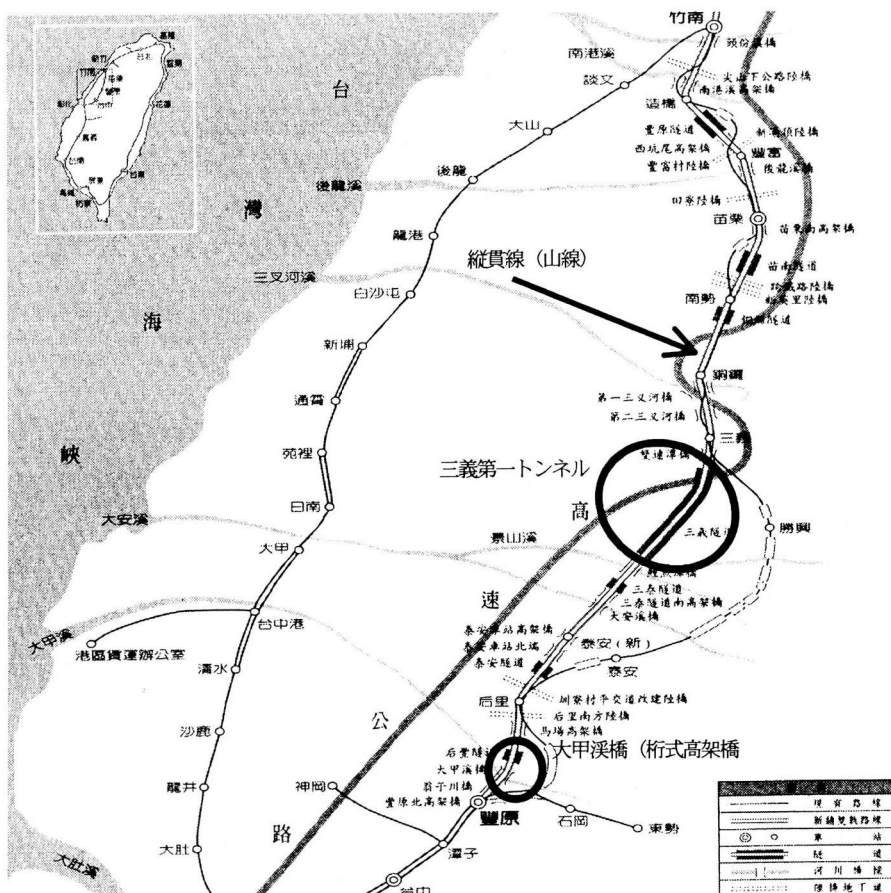


図-2 縦貫線（山線）

2. 1. 2 三義第一トンネル

基本構造：複線（電化線），NATM工法により施工。
計画時には、大変形が生じると予想される断層部を避けて配線の決定をされている（図－3）。

損傷状況：3地点（161K 付近，164K 付近，165K630m 付近）において計8箇所で損傷した（写真－3）.

トンネル内部のコンクリート陥落やトロリー線落下、軌道変状が生じた。

トンネル本体の変状は水平方向に最大約2 cm であり、



図-3 三義第一トンネル

軌道の変状はレール座屈が水平方向に最大 74cm に及んだと言われている。

補修補強：裏込め注入後、ロックボルト（ $L=3\text{m}$ ， $\phi 30\text{mm}$ ，etc. 1.2m）＋吹き付けコンクリートを行う。

本トンネルは、詳細な地盤調査の結果、当初の計画線を変更し、大変形が生じると予想される断層部を避けて計画された。これにより施工延長は大幅に増えたものの、今回の地震では軽微な損傷にすんだ。このような計画になっていなければ、断層によりトンネル断面が大きくなると変状し、長期間不通となる大きな損傷が生じた可能性が高いと考えられる。

2. 2 台中港線の被害

台中港線は台中から台中港に向かう支線で、地震動により地盤の液状化による線路の不等沈下、これによるレールの座屈、破断が生じた。平成 11 年 10 月末現在、まだ復旧されていない。

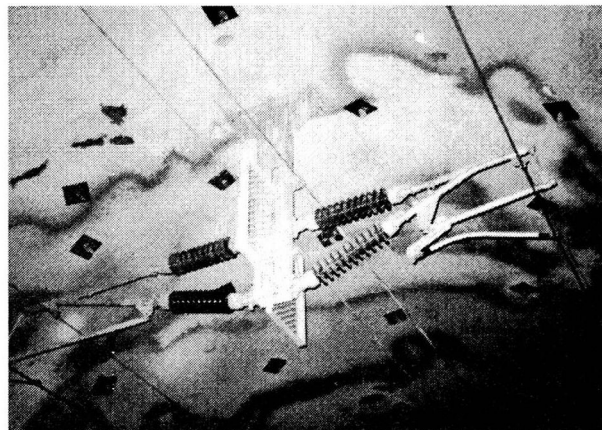


写真-3 トンネルの補修補強



写真-4 集集線（名間地区）の被害

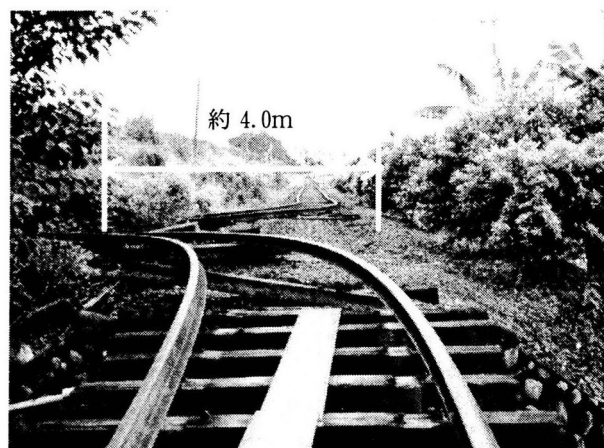
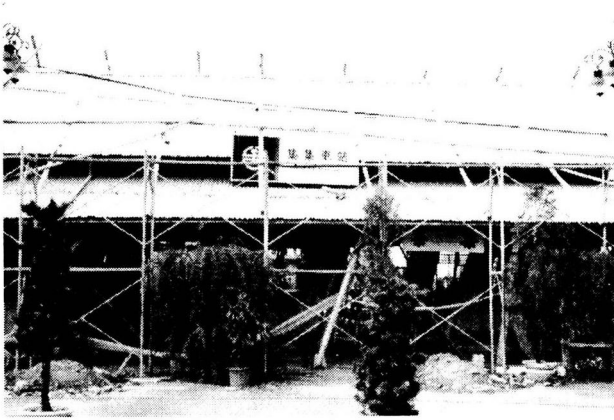


写真-5 レール座屈

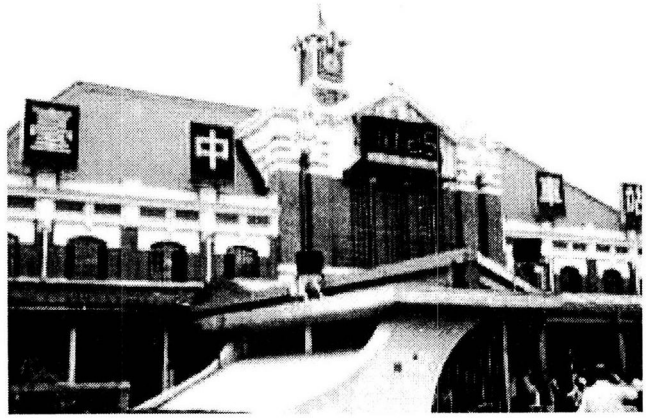
2. 3 集集線の被害

集集線は二水から車埕（呈には、土辺が必要であるがフォントの都合で、ここでは呈と示す）に向かう山間部の支線であり、広範囲にわたりレールの座屈、液状化などの被害が生じている。

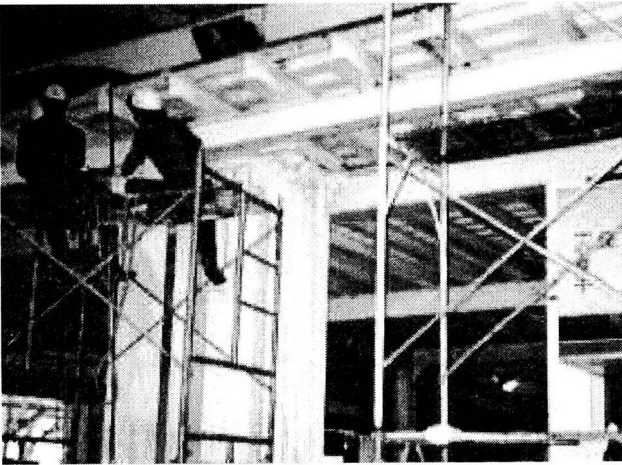
特に名間地区（台中市）では、逆断層による地盤変動が、支間長 5m の橋梁西側の取り付け盛土部を横断し、



写真－6 集集駅の損傷



写真－7 台中駅



写真－8 台中駅の補修補強



写真－9 旧鉄道橋（現在、歩道橋）の損傷

このため軌道は約8m隆起した。レールもこの隆起に引きずられる形で移動するとともに、線路直角方向に約4mもの座屈を生じた。一部復旧の準備はされているが、現在は一時中断されており、来年3月頃の復旧予定とされている。

2. 4 駅舎の被害

集集駅は、今回の地震により倒壊寸前の損傷を受けたが、1930年に構築された台湾で最も古い木造駅舎であることから、取り壊さずに補修する予定とされている（写真－6）。

台中駅（文化財指定）は柱に亀裂が生じ、補修補強が行われている（写真－7, 8）。

2. 5 阿里山森林鉄道（三セク）の被害

阿里山林鉄道の眠月線では、観光でも有名な石猿岩（達磨岩）の頭部が崩れる等、崖崩れなどによる被害が生じた。復旧には4～6ヶ月を要すると言われている。

2. 6 旧鉄道橋（現在、歩道橋）の被害

8年前に廃線となった東勢線（山線の支線）の大甲溪川に架かる橋梁は、現在、歩道橋に改築されている（写真－9）。

本橋は1930年代に構築され、橋脚は破損状況から無筋コンクリート構造と推定される。損傷状況は、橋脚中間部の二股となる付け根部分が破断し、橋台部の支承のアンカーボルトも破断している。この地区は今回の地震では激しい地震動を受けた所であるにもかかわらず、橋脚の倒壊や落橋が生じなかったのは、コンクリート桁などと比べ軽量かつ低剛性の上路プレートガーダー（Deck Plate Girder）の桁構造の影響が大きいと考える。

3. 今後の鉄道構造物の耐震設計の課題

縦貫線（山線）の大甲溪橋（桁式高架橋）、三義第一トンネルの構造物の損傷レベルに見られるように、強い地震動（L2地震動）に対しては、損傷は生じるが破壊はさせないという設計法により構築された実例が示された。

今後は、巨大地震による震源地付近の強烈な地震動の存在も考慮して、想定地震動を適切に設定し、耐震設計

を行うことが重要であると考えられる。

また、今回の地震の特徴は、断層活動により壊滅的な被害が生じたことであり、今回の地震被害を教訓として、断層の変動を想定した耐震設計も今後の重要な課題と考える。

まず上げられる活断層の対策としては、断層近傍には路線を通さない、あるいは、断層区間を長支間の橋梁で横架する等の方法が考えられる。また、断層により線路が震災しても、この付近を列車が走行している確率は低いと考えることができるのであれば、断層部を土構造物（盛土など）とし、早期復旧を確保することも考えられる。

断層を避けて計画することについては、建築物であれば可能であるが、ライフライン構造物は断層を横断する箇所が確実に存在する。鉄道構造物においても断層を避けて建設することは、その計画性、コストなどを含めて事実上不可能であり、また加えて、列車走行性や列車速度などの鉄道に固有の問題を有している。台湾鉄道の三義第一トンネルでは、大きく変動すると予測された断層箇所を避け、可能な限りの配線の変更で対応した結果、今回の地震では大きな被害を回避することができたが、特に高速鉄道では、その方法にも限界がある。

東海道・山陽新幹線などでは、列車走行中の大地震に対するお客様の生命の安全を確保するために、鉄道防災システムとしてユレダス（UrEDAS：地震動早期検知警報システム）等が設けられているが、今後、構造物としても断層対策を考慮する等、より一層、安全性を担保していく必要がある。具体的には、高精度な地質調査技術の進歩が前提であるが、変動の可能性のある断層区間には特別な構造形態を計画し、施設の破壊を回避するか、大きな損傷を受けても早期復旧が可能な構造の開発が必要と考える。

4. あとがき

1999年集集大地震の鉄道施設の被害は莫大なものではなかったが、この背景には新線の計画に際して、断層の影響を受けやすい場所を避けるなど、台湾鉄道当局の努力があったことを見逃せない。

今回の地震の教訓として、台湾や我が国のような地震国においては、内陸直下型の地震による断層活動そのものも考慮した震災対策を考えていく必要があることが明らかとなった。こうしたことを可能とする技術が、ますます社会からも注目され、それらの技術の研究開発が我々研究者にとって急務といえよう。

謝辞：今回の調査において、台湾鐵路管理局 陳德沛（局長）、黃民仁（總工程司）、陳世昌（工務處長）、劉志正（專門委員）、蕭貞銘（台中工務段長）、陳仕其（副段長）、台湾交通部高速鐵路局 廖慶隆（局長）、施文雄氏の皆様とは鉄道施設の耐震設計に関して多くの議論する機会を得ました。また、国家地震工程研究中心 紫駿甫氏、廖文義氏には、現地調査に際し、特に便宜を図って頂きました。さらに、社団法人海外鉄道技術協力協会 岡田理事長、佐藤理事、財団法人交流協会台北事務所 成宮浩（副所長）、經濟部主任 武田英孝氏、田口左信氏、田中利男氏、石原邦敏氏、台湾三井物産 葉連三氏をはじめ多くの方々に資料の御提供等、種々の御支援、御協力を頂きました。ここに示して、深く感謝の意を表します。